# Technical Note

Public Works Canada / Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 20: February, 1984

## Temperature Sensors

### 1. SYNOPSIS

Fluid temperatures in a solar system must be measured accurately to ensure correct operation of the controllers and pumps. This Technical Note reviews the characteristics, accuracy, and calibration methodology of four generic types of temperature sensors.

### 2. INTRODUCTION

The differential controllers used in most solar heating systems rely on temperature sensors located at the top header of the collectors and in the lower section of the storage tank to start and stop the pumps that circulate heat transfer fluid through the collectors. Accurate sensors are essential to ensure efficient system operation. Accuracy is also important when sensors are used for monitoring purposes, for instance, to measure temperature differentials across the heat exchanger.

Some temperature sensors can be inaccurate by up to $\pm 2$°C. Such inaccuracy could have an adverse effect on system operation, as shown in the following table:

| Case | Sensor Location | Actual Temperature, °C | Sensed Temperature, °C |
|---|---|---|---|
| (1) | Collector | -0.25 | +1.75 |
| | Storage | +0.5 | -1.5 |
| (2) | Collector | +17 | +15 |
| | Storage | +10 | +12 |
| (3) | Collector | +20 | +18 |
| | Storage | +10 | +12 |

In the first case, assuming the OFF differential is set to 3°C, the pumps would still operate even though the collector temperature is below freezing.

In the second case, assuming the OFF differential is set to 3°C, the pumps would shut off even though there is still a difference of 7°C between collectors and storage.

In the third case, assuming the ON differential is set to 10°C, the pumps would not operate because a difference of only 6°C is sensed. The pumps would not start until the collector temperature is increased by 4°C to 22°C, thus wasting potential energy.

## 3. TEMPERATURE SENSOR TYPES

Four types of electronic temperature sensors are used on solar systems:

- Thermistors;
- Resistance Temperature Detectors (RTD's);
- Integrated Circuits (IC's);
- Thermocouples.

### 3.1 Thermistors

Thermistor sensors are widely used in temperature measurements and control systems because of their speed, relatively high output, availability and low price. A thermistor is a composition resistor in which resistance decreases as temperature increases.

The temperature/resistance relationship is non-linear (often logarithmic). Generic-type thermistors are usually specified by resistance at 25°C. Common values are 3,000 ohms and 10,000 ohms at 25°C. Thermistors can tolerate temperatures up to 150°C, but for reliable, continuous operation temperatures should not exceed 100°C. Differential controllers generally have built-in features to compensate for the non-linear charactertistics of the particular thermistor recommended for that controller. Therefore, each differential controller must use the exact thermistor model recommended by the controller manufacturer in order to achieve the required temperature/resistance reponse.

According to a Solar Energy Research Institute (SERI), report[1], thermistors can be inaccurate up to ±2°C when measuring temperatures near 0°C. A more accurate measurement (±1°C) can be obtained by using 3 or 4 wires to each sensor point to compensate for variations in lead-length and lead temperature instead of the 2 wires generally used for solar system controls.

### 3.2 RTD Platinum

Accepted for many years as the "standard" temperature sensor, RTD Platinum devices display increasing resistance with increasing temperature, which is a property shown by most pure metals. Platinum is chosen because of its exceptional long-term stability at high temperatures (it does not oxidize). RTD's (particularly platinum RTD's) possess the best accuracy, linearity, stability and industrial standardization of all sensors.

The use of standardized (100 ohm) resistance element values and calibrations is of great advantage in permitting the interchange of sensors and measurement instrumentation. At present, the DIN 43760 standard "alpha=0.0385/ohm/°C" is most commonly used. Using "off-the-shelf" RTD elements, wiring switches and digital indicators, the target of overall accuracy of ±0.5°C is readily attainable.

Caution must be observed during the selection and installation of such equipment so that lead-length and lead-temperature variations are compensated for (usually by using 3 or 4 wire sensors) and junctions and wiring meet the manufacturer's specifications.

For temperature measurements of a less critical nature, such as for the solar storage tank or supply cold water, the same measurement electronics can be used with lower precision (and less costly) RTD sensors.

Depending on the type of RTD selected, RTD's can be used to sense temperatures from -220°C to 600°C.

### 3.3 Integrated Circuits

A recent introduction to the temperature measurement field, integrated circuit (IC) sensors, such as the LM-334, are rapidly becoming accepted in a number of control applications. While the detailed internal operation of such devices is quite complex, most IC's are designed to produce a voltage or current which increases with sensor temperature. The signal produced by a voltage or a current IC has a low sensitivity to the power supply and the lead length. Unlike two-wire thermistors and RTD's, care must be taken when wiring IC's as they are polarized[2]. An accuracy of $\pm$1.0°C is typical for IC sensors. The maximum allowable operating temperature for an IC sensor is 150°C, while temperatures as high as 200°C are allowable for short periods.

### 3.4 Thermocouples

Thermocouples are employed in many types of temperature measurement systems; they are available in a wide variety of physical forms, are durable and inexpensive, and often permit a wide temperature range. While properly constructed thermocouple systems can achieve an accuracy of $\pm$1°C, their extremely small signal, lack of stability, and requirement for critical wiring procedures make them more suitable for wide temperature range industrial applications than solar systems.

Thermocouple sensors measure the changes in voltage produced by the heating of a junction of dissimilar metals or alloys. This voltage increases with temperature in a non-linear fashion. Voltage changes are small, in the order of a millivolt per degree Centigrade. Thus special electronic instrumentation and stable references are required to obtain a useable temperature indication from this type of sensor. Induced voltages from other electrical equipment may lead to incorrect readings. Therefore, special wiring procedures must be used when attaching remote sensors in order to ensure that unintentional junctions and voltages are not introduced into the system.

## 4. SENSOR CALIBRATION

Every sensor must be checked to see that it is accurate within the tolerances published by the supplier. Those found outside of the published tolerances should be returned immediately. The sensors should be checked when the controller set points are set during the commissioning of the system. SERI found that all five 3,000 ohm and one 10,000 ohm resistor did not survive their stagnation temperature test. The characteristics of two of the remaining nine 10,000 ohm thermistors also changed significantly.

Sensors should be tested with a high quality multi-meter. Some of these devices come with their own temperature sensor, which may be used as a standard if the tests outlined below are too difficult to perform.

The sensors can easily be tested at 0°C, 37°C and 100°C. The 0°C environment can be provided by an ice-water bath. The ice and water should be allowed to reach a temperature equilibrium with the temperature sensors, which takes 10-15 minutes. The ice-water will then be within one degree of freezing and measurements can be taken.

The 37°C environment can be found under a person's tongue (as long as he is not feverish). The 100°C environment can be provided by boiling water. The temperature sensors should not touch the walls of the boiling container.

The results of these tests should be plotted on graph paper, with the X axis representing the actual temperature and the Y axis representing the temperature reported by the temperature sensor. A straight line can then be drawn between the test points. This line represents the relationship between the sensed temperature and the real temperature. Readings made with sensors calibrated in this way can be used with some assurance of accuracy once the correction from the graph has been applied.

Thermistors and RTD's should be tested while they are not attached to the controller. IC's must be tested while attached to the controller since they are matched to the controller's power supply. Thermocouples require a reference junction. This is often incorporated into specialized thermocouple temperature readout equipment, or it can be provided by the ice bath.

A shorted thermistor or RTD produces a very low resistance on an ohm meter. A break in the sensor wire is indicated by an abnormally high resistance. A shorted IC results in a low voltage, while a break in the sensor wire may be indicated by a very high voltage.

## 5. RECOMMENDATIONS

When choosing a control system, choose the best quality sensors available and then calibrate them. Prior to installation of a control system, all sensors should be exposed to the minimum and maximum temperatures the system might attain. This procedure ensures more efficient operation of the controller and the whole solar system.

**References:**

1. Robert B. Farrington & Daryl Myers, Evaluation and Laboratory Testing of Solar Domestic Hot Water Control Systems, Solar Energy Research Institute, SERI/TR-254-1805

2. Manual for the Installation of Residential Solar Domestic Hot Water Systems, April 1983, Canadian Solar Industries Association

---

NOTE: Most of this note has been previously published in the Solar Programs Office Operations and Maintenance Workshop Manual.

# Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-6817

Nº 20: février 1984

## Sondes thermiques

### 1. SOMMAIRE

Dans un système à énergie solaire, il faut pouvoir mesurer avec précision la température des fluides afin d'assurer le fonctionnement correct des contrôleurs et des pompes. Cette note technique examine les caractéristiques, la précision et les méthodes d'étalonnage de quatre types généraux de sondes thermiques.

### 2. INTRODUCTION

Les contrôleurs différentiels employés dans la plupart des systèmes de chauffage solaire font appel à des sondes thermiques situées au niveau du tube supérieur des capteurs ainsi qu'à la partie inférieure du réservoir d'emmagasinage, afin de mettre en marche et d'arrêter les pompes qui font circuler le fluide caloporteur dans les capteurs solaires. La disponibilité de sondes suffisamment précises est essentielle au fonctionnement efficace du système. La précision joue également un rôle important lorsqu'on utilise les sondes à des fins de surveillance, par exemple pour mesurer les écarts de température à travers l'échangeur de chaleur.

Certaines sondes thermiques peuvent être sujettes à des erreurs pouvant atteindre $\pm 2$°C. Une telle imprécision risque d'avoir un effet nocif sur l'exploitation du système, comme l'indique le tableau ci-dessous:

| Cas | Position de la sonde | Température réelle, °C | Température captée, °C |
|---|---|---|---|
| (1) | Capteur | -0,25 | +1,75 |
| | Emmagasinage | +0,5 | -1,5 |
| (2) | Capteur | +17 | +15 |
| | Emmagasinage | +10 | +12 |
| (3) | Capteur | +20 | +18 |
| | Emmagasinage | +10 | +12 |

Dans le premier cas, en supposant que le différentiel A L'ARRÊT est réglé sur 3°C, les pompes continueraient à fonctionner malgré le fait que la température du capteur est inférieure à 0.

Dans le deuxième cas, en supposant toujours que le différentiel A L'ARRÊT est réglé sur 3°C, les pompes s'arrêteraient malgré le fait qu'il y a encore un écart de 7°C entre les capteurs et l'emmagasinage.

Dans le troisième cas, en supposant que le différentiel EN MARCHE est réglé sur 10°C, les pompes ne fonctionneraient pas parce qu'on ne détecte qu'un écart de 6°C. Les pompes ne se mettraient en marche qu'au moment où la température du capteur est augmentée de 4°C, pour passer à 22°C, et cela gaspille de l'énergie potentielle.

## 3. TYPES DE SONDES THERMIQUES

Dans les systèmes à énergie solaire, on utilise quatre types de sondes thermiques électroniques:

- Les thermistances;
- Les sondes thermiques résistives (STR);
- Les circuits intégrés (CI);
- Les thermocouples.

### 3.1 Thermistances

Les sondes à thermistances sont couramment employées dans les systèmes de mesure et de contrôle de la température à cause de leur vitesse, de leur niveau de sortie relativement élevé, de leur disponibilité et de leur faible coût. Une thermistance est une résistance agglomérée dont la valeur ohmique diminue à mesure qu'augmente la température.

La relation entre la température et la résistance est non linéaire (souvent logarithmique). Pour spécifier les thermistances selon le type auquel elles appartiennent, on précise généralement leur résistance à 25°C. 3 000 ohms et 10 000 ohms représentent des valeurs courantes à 25°C. Les thermistances peuvent tolérer des températures pouvant atteindre 150°C; cependant, afin que le fonctionnement soit fiable et ininterrompu, la température ne devrait pas dépasser 100°C. Les contrôleurs différentiels possèdent généralement des caractéristiques propres qui leur permettent de compenser les caractéristiques non linéaires de la thermistance particulière recommandée pour le contrôleur en question. Afin d'obtenir la réaction température-résistance voulue, chaque contrôleur différentiel doit donc utiliser le type de thermistance précis recommandé par le fabricant du contrôleur.

Selon un rapport[1] du Solar Energy Research Institute (SERI), les thermistances peuvent être sujettes à des erreurs de jusqu'à $\pm$2°C lorsqu'elles mesurent des températures proches de 0°C. On peut obtenir une mesure plus précise ($\pm$1°C) en branchant 3 ou 4 fils à chaque point de captage de la température afin de compenser les variations de longueur des fils d'une part, et de température des fils d'autre part, au lieu des 2 fils généralement utilisés pour les contrôles des systèmes solaires.

### 3.2 STR en platine

Considérés pendant de nombreuses années comme étant les sondes thermiques "standard", les dispositifs STR en platine voient leur résistance augmenter à mesure que la température augmente; il s'agit là d'une propriété dont font preuve la plupart des métaux purs. On a choisi le platine à cause de son exceptionnelle stabilité à long terme, à haute température (il ne s'oxyde pas).

Parmi toutes les sondes thermiques, ce sont les STR (et particulièrement les STR en platine) qui offrent les meilleures précision, linéarité, stabilité et normalisation industrielle.

L'utilisation de valeurs et d'étalonnages normalisés (100 ohms) de l'élément résistif offre un très grand avantage, car elle permet l'interchange des sondes et des instruments de mesure. Actuellement, on utilise le plus souvent la norme DIN 43760 "alpha=0,0385/ohm/°C". Au moyen d'éléments STR, de commutateurs et d'indicateurs numériques disponibles dans le commerce, on peut facilement réaliser une précision globale de $\pm$0,5°C.

Lors du choix et de l'installation de ce matériel, on doit s'assurer qu'il y a une compensation pour tenir compte des variations de longueur et de température des fils (on y parvient généralement en utilisant des sondes à 3 ou 4 fils), et que les connexions et le câblage sont conformes aux spécifications du fabricant.

Pour les mesures de température moins critiques, par exemple pour les réservoirs d'emmagasinage d'énergie solaire ou pour la source d'eau froide, on peut utiliser les mêmes circuits électroniques de mesure avec des STR moins précises (et donc moins chères).

Selon le type de STR choisi, on peut utiliser des STR pour capter des températures allant de -220°C à 600°C.

### 3.3 Circuits intégrés

Introduits récemment pour la mesure des températures, les sondes thermiques à circuits intégrés (CI) tels le LM-334, deviennent de mieux en mieux acceptés dans toute une gamme d'applications de contrôle. Bien que le fonctionnement interne détaillé de ces dispositifs soit assez complexe, la plupart des CI produisent une tension ou un courant qui augmente avec la température de la sonde. Le signal produit par un CI de tension ou de courant est peu sensible à l'égard de la source d'alimentation et de la longueur du fil. A l'encontre des thermistances et des STR à deux fils, on doit faire attention lors du câblage

des CI, parce qu'ils sont polarisés[2]. Une précision de ±1,0°C représente une valeur typique pour les sondes à CI. La température d'exploitation maximale permissible pour une sonde à CI est de 150°C, mais des températures pouvant aller jusqu'à 200°C sont permissibles pendant de courtes périodes.

### 3.4 Thermocouples

Les thermocouples sont utilisés dans de nombreux types de systèmes de mesure de la température; disponibles dans de nombreux formats différents, ils sont robustes et bon marché; de plus, ils admettent souvent une vaste gamme de températures. Bien que des systèmes à thermocouple correctement conçus puissent atteindre une précision de ±1°C, leur signal extrêmement faible, leur manque de stabilité et le besoin de procédés de câblage critiques les rendent mieux adaptés pour les applications industrielles exigeant une vaste gamme de températures que pour les systèmes à énergie solaire.

Les sondes à thermocouple mesurent les changements de tension produits par le réchauffement d'une jonction d'alliages ou de métaux différents. Cette tension augmente de façon non linéaire avec la température. Les changements de tension sont faibles, de l'ordre d'un millivolt par degré C. Pour obtenir une indication de température utile à partir de ce type de sonde, il faut donc une instrumentation électronique spéciale et des repères stables. Les tensions induites par d'autres appareils électriques risquent d'entraîner des lectures incorrectes. Afin de s'assurer que l'on n'introduit pas dans le système des jonctions et des tensions non voulues, on doit donc suivre des procédés de câblage spéciaux lorsqu'on connecte des sondes à distance.

## 4. ÉTALONNAGE DE LA SONDE THERMIQUE

Chaque sonde doit être vérifiée pour que sa précision se trouve dans les tolérances publiées par le fournisseur. Toute sonde non conforme aux tolérances publiées doit être renvoyé immédiatement au fabricant. On doit vérifier les sondes lorsqu'on fixe les points de règlage du contrôleur, au moment de la mise en marche du système. SERI a constaté qu'aucune des cinq résistances de 3 000 ohms et une résistance de 10 000 ohms n'ont survécu à leurs essais de

température de stagnation. Les caractéristiques de deux des dix thermistances de 10 000 ohms restantes ont elles aussi subi des changements considérables.

On doit vérifier les sondes au moyen d'un multimètre de haute qualité. Certains multimètres possèdent leur propre sonde thermique, et on peut s'en servir comme étalon lorsque les essais précisés ci-dessous sont trop difficiles à faire.

On peut facilement essayer les sondes à 0°C, 37°C et 100°C. Le milieu à 0°C peut être assuré par un bain d'eau "glacée". On doit permettre à la glace et à l'eau d'atteindre un équilibre thermique avec les sondes thermiques, ce qui prend quelque 10-15 minutes. La glace et l'eau seront alors à moins de 1 degré de zéro et on peut faire les mesures.

L'environnement à 37°C se trouve sous la langue d'une personne (pourvu que cette dernière n'ait pas la fièvre). L'environnement à 100°C peut s'obtenir au moyen d'eau en ébullition. Les sondes thermiques ne doivent pas toucher les parois du vase où se fait l'ébullition.

Les résultats de ces essais doivent être tracés sur papier millimétrique, où l'axe des X représente la température réelle et l'axe des Y représente la température signalée par la sonde thermique. On peut alors tracer une ligne droite entre les points de mesure. Cette ligne représente la relation entre la température captée et la température réelle. La précision des lectures effectuées au moyen de sondes ainsi étalonnées est garantie dans une certaine mesure, une fois que l'on a appliqué la correction tirée du graphique.

Les thermistances et les STR doivent être essayées lorsqu'elles ne sont pas branchées sur le contrôleur. Par contre, les CI doivent être essayés lorsqu'ils sont branchés sur le contrôleur, puisqu'ils sont appariés à la source d'alimentation du contrôleur. Pour les thermocouples, il faut une jonction-repère. Dans de nombreux cas, celle-ci est intégrée à l'équipement spécialisé de lecture de la température du thermocouple; sinon, le bain à glace peut offrir les conditions nécessaires.

Une thermistance ou une STR court-circuitée produit une très faible résistance sur un ohmmètre. Une rupture du fil de la sonde est indiquée par une résistance anormalement élevée. Un CI court-circuité entraîne une faible tension, tandis qu'une rupture du fil de la sonde peut être indiquée par une tension très élevée.

## 5. RECOMMANDATIONS

Lorsqu'il faut choisir un système de contrôle, choisir les sondes de la meilleure qualité disponible, puis les étalonner. Avant d'installer un système de contrôle, toutes les sondes doivent être exposées aux températures minimales et maximales que le système peut atteindre. Ce procédé garantit le fonctionnement plus efficace du contrôleur et de l'ensemble du système à énergie solaire.

**Références:**

1. Robert B. Farrington & Daryl Myers, Evaluation and Laboratory Testing of Solar Domestic Hot Water Control Systems, Solar Energy Research Institute, SERI/TR-254-1805.

2. Guide d'installation des systèmes résidentiels de chauffe-eau ménagers solaires, avril 1983, Association des industries solaires du Canada

---

REMARQUE: Le contenu de cette note technique a déjà été publié en grande partie dans le Guide d'atelier d'exploitation et d'entretien du Bureau des programmes solaires.